

明 細 書

発明の名称：オゾン発生システムおよびオゾン発生方法

技術分野

[0001] この発明は、放電を用いてオゾンを発生させるオゾン発生システムおよびオゾン発生方法に関するものである。

背景技術

[0002] 空気や酸素に窒素が添加されたガスを原料に使用して放電を用いてオゾン (O_3) を発生させるオゾン発生システムにおいては、オゾン生成にともない、窒素酸化物 (NO_x) が副生されることが一般的に知られている。また、副生される窒素酸化物はオゾン共存下のため、ほとんどが五酸化二窒素 (N_2O_5) という構造で存在している。 N_2O_5 の物性は、 $30^{\circ}C$ 以下の常温では固体となり、通常の運転条件では、オゾン発生装置内のほぼ全域に放電生成物として付着する可能性がある。

[0003] 一方、一般的なオゾン発生システムにおいては、3年から5年に一度の定期点検がメーカーより推奨されており、その際、システムをすべて停止し、さらにオゾン発生装置を大気に開放し、電極を取り出して清浄化するメンテナンス作業が実施される。固体の N_2O_5 が付着した状態でオゾン発生装置を大気に開放すると、 N_2O_5 が大気中の水分と反応して生成した硝酸 (HNO_3) により、金属部材が腐食することが懸念される。そのため、オゾン発生装置内に付着物が蓄積し、オゾン生成効率の低下やオゾン生成空間となる管内に閉塞が発生し、安定な動作状態を維持することが困難となる。

[0004] そこで、温水装置を用いてオゾン発生装置タンクを加熱維持してから大気開放することにより、オゾン発生装置内部に付着している N_2O_5 を気体化して除去するオゾン発生装置の取扱い方法（例えば、特許文献1参照。）や、不活性ガスや洗浄液を用いてオゾン発生装置内をパージする手段を有するオゾン発生器（例えば、特許文献2参照。）が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2002-265204号公報（段落0025～0035、図1～図3）

特許文献2：特開2001-180916号公報（段落0034、0050～0051、図1～図3）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述したオゾン発生装置を加熱維持する方法では、加熱のために余分なエネルギーを必要とするとともに、オゾン発生装置の運転を停止する必要がある。また、パージを行う場合も、オゾン生成を中断する必要がある、そのたびに、生成したオゾンを用いて処理を行う機器を停止する必要があった。

[0007] 本発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、オゾン生成を中断することなく、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明にかかるオゾン発生システムは、対向配置されて放電空間を形成する放電電極を有するオゾン発生装置と、前記放電空間にオゾン発生のための原料ガスとして、酸素を含むガスを供給するガス供給装置と、前記放電電極に放電のための電力を供給する電源装置と、前記放電電極の温度を調節する温度調節装置と、前記ガス供給装置と前記電源装置と前記温度調節装置とを制御して、前記オゾン発生装置の運転を制御する制御部と、前記オゾン発生装置におけるオゾン発生パラメータを検出する検出部と、を備え、前記制御部は、前記検出部から出力されたオゾン発生パラメータの値に基づき、通常の運転モードから、前記温度調節装置と前記ガス供給装置、または前記温度調節装置と前記電源装置とを連携制御し、前記放電電極の温度を五酸化二窒素が気化する温度まで上昇させて、前記放電空間でのオゾンの発生を継続し

た状態で前記放電電極表面および前記放電空間を清浄化する、清浄化運転モードへ移行するように前記オゾン発生装置の運転を制御することを特徴とする。

[0009] また、本発明にかかるオゾン発生方法是对向配置されて放電空間を形成する放電電極を有するオゾン発生装置に、酸素を含むガスを供給して前記放電空間における放電を用いてオゾンを発生させるオゾン発生方法であって、前記オゾン発生装置におけるオゾン発生パラメータを検出し、前記放電電極を冷却する冷却水の温度と前記ガスの圧力、または前記放電電極を冷却する冷却水の温度と前記放電電極への投入電力とを連携制御し、前記オゾン発生パラメータの値に基づき、前記放電電極の温度を五酸化二窒素が気化する温度まで上昇させて、前記放電空間でのオゾンの発生を継続した状態で、前記放電電極表面および前記放電空間を清浄化する、ことを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明のオゾン発生システム、あるいはオゾン発生方法によれば、オゾン発生中に異常を検出したときに、五酸化二窒素の飽和蒸気圧がガス圧力よりも高くなるように電極の温度を上昇させるので、五酸化二窒素を気化させ、オゾン発生を中断することなく、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得る、あるいはオゾン発生を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の実施の形態1にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図2]本発明の実施の形態1にかかるオゾン発生システムの構成要素であるオゾン発生装置に設けられた放電電極部の構造を示す断面図である。

[図3]本発明の実施の形態1にかかるオゾン発生システムの運転方法を説明するためのフローチャートである。

[図4]本発明の実施の形態1にかかるオゾン発生システムでの運転条件範囲を説明するための図である。

[図5] N_2O_5 の温度と蒸気圧との関係を示す図である。

[図6]本発明の実施の形態2にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図7]本発明の実施の形態3にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図8]本発明の実施の形態4にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図9]本発明の実施の形態5にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図10]本発明の実施の形態6にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図11]本発明の実施の形態7にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図12]本発明の実施の形態8にかかるオゾン発生システムの構成を示す系統図である。

[図13]本発明の実施の形態8にかかるオゾン発生システムの運転方法を説明するためのフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] 実施の形態1.

図1～図6は、本発明の実施の形態1にかかるオゾン発生システムおよびその運転方法を説明するためのもので、図1はオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図、図2(a)と図2(b)はオゾン発生装置の放電電極部の構成を示すためのもので、図2(a)は放電電極部のガス流れ方向に平行な切断面による断面図、図2(b)はガス流れ方向に垂直な方向の断面で、図2(a)のA-A線による断面図である。また、図3はオゾン発生システムの運転方法を説明するためのフローチャート、図4はオゾン発生システムでの運転条件範囲を示す図で、オゾン発生装置に供給する冷却水の温度と放電電極部の電極管温度との関係で示している。そして、図5は放電電極部での除去対象である N_2O_5 の温度と蒸気圧との関係を

示す図である。

[0013] 本発明の実施の形態 1 にかかるオゾン発生システムの構成について説明する。

オゾン発生システムは、図 1 に示すように、原料ガスである空気を加圧して供給するためのガス供給装置 1 と、ガス供給装置 1 から供給された加圧空気からオゾンを生成してオゾン化ガスを出力するオゾン発生装置 3 と、出力されたオゾン化ガスを用いてオゾン処理を行うオゾン利用設備 200 から排出された余剰オゾン化ガス、あるいはオゾン利用設備 200 を介さず送られてきたオゾン化ガスからオゾンを取り除く排オゾン処理部 5 と、オゾン発生装置 3 の温度を調節する温度調節器として、冷却により温度を調節する冷却系統（温度調節装置 7）と、当該システムの運転制御を行う制御部 4 と、を備えている。ここで、用いられるオゾン発生装置 3 は、空気源オゾン発生装置と称される。

[0014] そして、図中、極太線で示すガスフロー系統では、ガス供給装置 1 からオゾン発生装置 3 に供給されるガスの露点を計測する露点計測部 2 と、オゾン発生装置 3 によって発生した差圧を測定する差圧計測部 6 と、オゾン発生装置 3 が出力するオゾン化ガスをオゾン利用設備 200 に送るか、排オゾン処理部 5 に送るかを切り替える、あるいは両者へ送る割合を調節するためのバルブ 14、15 が備えられている。

[0015] ガス供給装置 1 は、ポンベ設備、コンプレッサまたはブロアなどを示し、必要に応じて原料ガス冷却・乾燥装置により構成される水分除去部が設けられる。この水分除去部には、加熱再生式または圧力再生式が用いられる。原料ガスは酸素を含むガスとして加圧した空気を供給する。オゾン利用設備 200 は、水処理設備、排水処理設備、各種酸化処理設備および半導体・液晶製造設備などを示す。例えば、水処理装置などに適用される場合、つまりオゾン発生量が数 kg/h～数十 kg/h となる場合には、ガス供給装置 1 には、コストパフォーマンスを考慮した際、ブロアを採用するのが好ましく、水分除去部には加熱再生式を採用するのが良い。

- [0016] 冷却系統（温度調節装置 7）には、オゾン発生装置 3 を冷却するための冷却水を循環させるための循環ポンプ 9 と、オゾン発生装置 3 で発生した熱を吸収して温度が上昇した冷却水を冷却する冷却器 8 と、冷却系統（温度調節装置 7）内の冷却水流量を調節するための流量調節バルブ 11 と 12 と、流量調節バルブ 11 と 12 の開度を調節して、オゾン発生装置 3 に供給する水温を調節するための温度調節器 13 と、を備えている。
- [0017] そして、オゾン発生装置 3、循環ポンプ 9、冷却器 8、流量調節バルブ 11 が、図中太線で示す配管によって、ループ状に接続され、オゾン発生装置 3 と循環ポンプ 9 と冷却器 8 との間を循環する主冷却ラインを構成する。一方、循環ポンプ 9 と冷却器 8 との間の配管と冷却器 8 と流量調節バルブ 11 間の配管途中には、流量調節バルブ 12 を介してバイパス配管 10 が接続され、オゾン発生装置 3 と循環ポンプ 9 との間を循環するバイパスラインを構成する。これにより、温度調節器 13 によって、流量調節バルブ 11 と 12 の開度を調節することで、オゾン発生装置 3 に供給する水温が調整され、オゾン発生装置 3 の温度を制御する。
- [0018] 冷却器 8 は液体－液体型、液体－気体型の各種熱交換型冷却器や液体－フロン冷媒型のチラーなどを示す。ここで、冷却水とは一般的な水道水を示すが、不凍液やスケール除去剤などが混入される場合やイオン交換水や純水が使用される場合もある。
- [0019] また、図中、露点計測部 2、差圧計測部 6 および温度調節器 13 から細線で結んだ先の「○」で表記した部分は、それぞれ、ガスフロー系統における露点センサーや圧力センサー、および冷却ラインにおける温度センサー、あるいはそれらのサンプルポートの設置位置を示す。また、点線は露点計測部 2、差圧計測部 6 から制御部 4 へのデータ信号線を示し、破線は制御部 4 や温度調節器 13 からの制御信号線を示す。
- [0020] このようなオゾン発生システムでは、ガス供給装置 1 から供給される原料ガスは露点計測部 2 を介してオゾン発生装置 3 に導入され、オゾン発生装置 3 において生成されたオゾン化ガスはバルブ 14 を介してオゾン利用設備 2

00またはバルブ15を介して排オゾン処理部5へ供給される。また、オゾン利用設備200を介した後の余剰オゾン化ガスも排オゾン処理部5へ送られる。このとき、オゾン発生装置3に供給される原料ガスの露点とオゾン発生装置3で発生する圧力損失は、それぞれ露点計測部2と差圧計測部6によって計測され、制御部4によって監視されている。そして、オゾン発生装置3内では熱が発生するが、冷却系統（温度調節装置7）により、所定温度の冷却水が循環されることによって、温度制御される。

[0021] つぎに、オゾン発生装置3の構成について説明する。

オゾン発生装置3は電極間に誘電体を介する無声放電式のオゾン発生装置である。電極形状には、平行平板式や円筒管式等、さまざまな形態が適用できるが、ここでは、図2に示すように、円筒管式の放電電極部30を例に説明する。放電電極部30には、高電圧電極として、円筒状をなす高電圧電極303と、高電圧電極303の外周面と一端側を覆うように高電圧電極303と一体化されたガラス管の誘電体302と、によって構成される高圧電極管304が設けられている。そして、接地電極として、高圧電極管304の外周面に対して所定の間隔（＝後述する空隙長（ギャップ長） d ）をあけて内周面を対向させるように高圧電極管304と同心に設置され、外周側に冷却水306が流れるように形成された接地電極（管）301が設けられている。

[0022] そして、誘電体302の外周面と接地電極（管）301の内周面との空隙が放電空間305となる。放電空間305は、図中矢印で示す方向に原料ガスを流すガス流通経路であるとともに、接地電極（管）301と高圧電極管304間に印加した交流高電圧により放電を生じさせる空間でもある。また、高電圧電極303の内部には、高電圧を印加するための給電部材307が開放された他端側から挿入され、誘電体302で覆われた一端側の端部には、沿面放電を抑制するための電界緩和層308が設けられている。なお、図2（b）では、給電部材307の記載は省略している。

[0023] オゾン発生装置3では、上記のような放電電極部30が必要なオゾン発生

量に応じて多数並列に接続され、ひとつのタンク内に収納される。そして、図示しない交流高電圧を印加する電源装置などを備えており、制御部4の制御により駆動した電源装置によって、各放電電極部30に所定の交流電圧が印加されるようになっている。これにより、各放電電極部30の放電空間305には、原料ガスが供給されるとともに、交流高電圧が給電部材307を介して印加され、オゾンが生成される。

[0024] つぎに、本実施の形態1および以降の実施の形態にかかるオゾン発生システムに共通する、空気もしくは窒素リッチな酸素混合ガスを原料ガスとした場合に好適なオゾン発生装置3の構成および運転条件について説明する。

[0025] 各実施の形態にかかるオゾン発生装置3の放電電極部30の構成としては、放電空間305の空隙長 d （以下、ギャップ長 d と称す）を0.3mm以上0.6mm以下、好ましくは0.4mm以上0.6mm以下に設定している。ギャップ長 d を0.6mm以下に設定することにより、放電空間305の冷却効率が向上し、オゾン発生効率の向上が確認される一方、ギャップ長 d を0.3mm未満に設定すると、放電空間305の電界強度が大きくなりすぎて窒素酸化物の発生量が増大し、オゾン発生効率が低下する。さらに、0.6mmを超えた値にギャップ長 d を設定すると、放電空間305の温度が過度に上昇し、オゾン発生効率が低下する。したがって、空気もしくは窒素リッチな酸素混合ガスを原料ガスとした場合、ギャップ長 d には最適値が存在し、0.3mm以上0.6以下に設定する。

[0026] さらに、オゾン発生効率は前記ギャップ長 d だけではなく、放電空間305内のガス圧力 P によっても変化する。各実施の形態にかかるオゾン発生システムの運転条件としては、ガス圧力 P は0.2MPaG（G：ゲージ圧）以下、好ましくは0.1MPaG以上0.2MPaG未満に設定されている。ガス圧力 P の上昇は放電空間305における窒素酸化物の生成を抑制する。また、ガス圧力 P はガス供給装置1の吐出圧力、例えばブロアの場合は最大吐出圧力0.2MPaG程度、およびオゾン利用設備200に必要なオゾン化ガス圧力（例えば水処理装置の場合は0.1MPaG程度）によっても

上下限が決定される。また、ガス圧力 P を 0.2 MPa G 未満に設定することで、オゾン発生装置3が第二種圧力容器規定に該当しなくなり、法令上の制約が軽減されて、取扱い等が容易になる。

[0027] つまり、各実施の形態においては、ギャップ長 d を 0.3 mm 以上 0.6 mm 以下、好ましくは 0.4 mm 以上 0.6 mm 以下に設定し、さらにオゾン発生効率が高く、より窒素酸化物の発生量が抑制できるガス圧力 P として、 0.1 MPa G 以上 0.2 MPa G 未満に設定している。

[0028] また、オゾン発生装置3に投入する投入電力密度（電極面積当たりの投入電力）は $0.05\sim 0.6\text{ W/cm}^2$ 、好ましくは $0.1\text{ W/cm}^2\sim 0.3\text{ W/cm}^2$ となる。投入電力密度はオゾン発生装置3のサイズを表す指標でもあり、投入電力密度が大きければ装置は小さくなる。一方、投入電力密度の上昇は放電空間305の温度上昇を招き、オゾン発生効率は低下する。放電によるオゾン発生および窒素酸化物生成抑制の観点からは、放電空間305の温度は低温であるほうが好ましいため、投入電力密度は過度に大きくしないことが必要である。しかしながら、投入電力密度が 0.05 W/cm^2 未満になると、放電状態にばらつきが発生し、安定な放電が維持できなくなるため、好ましくはない。

[0029] つぎに、上述した構造や運転条件におけるオゾン発生装置3内で生ずる現象および従来のオゾン発生システムにおける問題点について説明する。

オゾン発生装置3に供される原料ガスの露点は一般的に -60°C 以下（大気圧露点）に設定されている。当然のことながら、露点が高くなると、原料ガスに同伴されオゾン発生装置3に流入する水分量が多くなるので、オゾン発生効率に影響をおよぼすこと、およびオゾン発生装置3内における硝酸生成を引き起こすため、この露点よりも高い露点で運転することは推奨されていない。

[0030] しかしながら、露点が -60°C の原料ガスの水分量を原料ガス中の体積濃度に換算すると約 10 ppmv になり、露点 -70°C ですら、数 ppmv の水分が同伴されていることになる。露点が -60°C 以下に保たれているかぎ

り、オゾン発生効率面での影響は少なくなるが、露点を -60°C ～ -80°C 程度にまで下げても、長期運転継続の結果、微量水分の影響によりオゾン発生装置3内の生成物蓄積および硝酸生成は増加する傾向にあることを本発明者は見出した。

[0031] 例えば、上記構成のオゾン発生装置3の標準的な動作条件においては、放電空間305の温度は冷却水温度が高くなる夏場で 40°C 程度、冷却水温度が低くなる冬場では 18°C 程度となる。上述したガス圧力Pの範囲と後述する N_2O_5 の飽和蒸気圧を考慮すると、夏場でもオゾン発生装置3の温度は放電生成物である N_2O_5 が固体状態になる温度であると考えられる。さらに、真夏場以外では、オゾン発生装置3の温度は大気圧下での N_2O_5 の昇華点(32.4°C)をも下回り、吸湿性を有した固体状態の N_2O_5 は微量水分と反応して硝酸を生成する。さらに、硝酸生成により、潮解性を有する固体である硝酸鉄 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ も生成してオゾン発生装置3に蓄積することになる。しかしながら、従来のオゾン発生システムにおいては、オゾン発生装置3を大気に開放して実施する定期的な接地電極(管)301および高圧電極管304の清浄化などのメンテナンスが前提となっており、上記露点範囲においては実用上大きな問題はないとされてきた。

[0032] さらに、露点が -40°C 以上となると、水分濃度は 10 ppmv を超え、 -20°C では 1000 ppmv を超えた水分が原料ガスに同伴されることになる。この場合、オゾン発生効率は急激な低下を発生し、固体として存在する N_2O_5 の硝酸化、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の装置内蓄積、固着および金属部材の甚大な硝酸腐食は避けられない。一方、オゾン発生装置内の硝酸生成に及ぼす影響が小さいと考えられる水分濃度 0.1 ppmv 以下を実現するためには、原料ガスの露点を約 -90°C 以下にする必要があり、これを実現するガス供給装置および水分除去装置は技術的に実現困難かつ極めて高価となり、非現実なものとなる。

[0033] したがって、上述した観点からも、定期メンテナンスによる電極部の清浄化作業などがメーカーから推奨されるのである。つまり、最低条件として、ガ

ス露点を -80°C ～ -60°C の範囲に保つ必要があるが、一般的に問題がないとされていたこの露点範囲においても、長期間の稼動に際しては、放電生成物および硝酸の生成・蓄積に対して十分な注意が必要であることがわかった。

[0034] 一方、上述したギャップ長 d を 0.6 mm 以下に調整したオゾン発生装置3での差圧、つまりガス圧力損失は数 kPa ～数十 kPa であり、ギャップ長 d が短くなるに従い上昇する。さらに、放電空間305に面する電極部に放電生成物が固着すると、圧力損失が増大するため、放電空間における生成物の固着・堆積状態を圧力損失により把握することができる。先に述べたように、放電生成物の固着は原料ガスに同伴される水分量と放電空間305の温度に依存する。オゾン発生装置3の差圧に上昇現象が確認できるのは、オゾン発生装置3に水分が導入され、生成物の固着が始まるタイミングからであるため、ガス露点による監視で放電生成物の固着を未然に防止することができ、差圧による監視で放電生成物の固着が甚大になる前に確認することができる。したがって、ガス露点および差圧の両者の監視が最も良いが、差圧だけの監視においても放電生成物の固着・堆積を早期に発見することが可能となる。ギャップ長 d が 0.6 mm を超える従来のオゾン発生装置においては、差圧そのものの値が小さく、放電生成物の固着を敏感に検知することができない。そのため、検知できた段階では、放電生成物の固着がすでに甚大となっており、上述のように、固着を未然に防止することは不可能であった。

[0035] なお、オゾン発生装置3においては、装置入口側ガス圧力を一定に調整する場合と装置出口側圧力を一定に調整する場合の2種類のガス圧力制御方式がある。前者の場合、装置の圧力損失が増大すると装置出口側ガス圧力が低下、後者の場合、装置入口側ガス圧力が上昇することになる。本実施の形態においては、当然ながら、装置の差圧を管理するのが最も好適であるが、オゾン発生装置3の圧力制御方式によっては、装置入口側または出口側の圧力のいずれか一方のみを監視し、各々所定値に対する変動を管理することによ

り、差圧監視の代用とすることができる。

[0036] 上述したように、本実施の形態にかかるオゾン発生システムでは、ギャップ長を0.6mm以下に短く設定し、空気を原料ガスとしたオゾン発生装置3の動作条件を最適化した。しかしながら、発明者らの実験の結果、従来のオゾン発生装置において考慮されなかった事象が発生する可能性があることがわかった。ギャップ長を0.6mm以下に設定したことにより、ガス供給装置1からの原料ガス露点によっては、オゾン発生装置3の放電空間305が稼動時に閉塞する可能性があるということである。

[0037] オゾン発生装置3は初期稼働時に接地電極(管)301の構成部材であるステンレス鋼に起因した金属酸化物が接地電極(管)301および高压電極管304表面に付着するため、オゾン発生装置3の差圧はいくぶん上昇するが、この差圧の上昇は数十時間の稼働後に安定化する。しかしながら、本実施の形態におけるギャップ長dの短いオゾン発生装置3においては、ガス露点が -60°C 以下であっても長期間稼働において、オゾン発生装置3内への N_2O_5 および $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の蓄積により、さらに差圧が増加する傾向にある。

[0038] 例えば、放電空間305の温度が N_2O_5 の昇華点よりも低い状態においては、原料ガス露点が -50°C 以上の場合に、接地電極(管)301および高压電極管304への放電生成物の固着が顕著になり、ガス露点が -40°C 以上の場合、オゾン化ガス出口付近から液体の析出が確認された。さらに、ガス露点が -20°C 以上になった場合、オゾン化ガス出口付近に濃硝酸に極めて近い液体が溜まることが確認された。上記液体析出時には、初期差圧に対して10kPa程度の急激な差圧上昇も確認された。放電生成物の固着の顕在化に伴い、接地電極(管)301と高压電極管304は固着してしまい、取り出すことが不可能な状態となった。すなわち、このような状態では大気開放によるメンテナンスそのものが不可能であることに加え、さらに大気中の水分により放電電極部30の状態がより悪化するため、発明者らは、オゾン発生装置3を開放することなく、放電電極部30のメンテナンスが必要で

あるとの結論に至った。

[0039] 本実施の形態にかかるオゾン発生装置3では、ギャップ長dが0.6mm以下に設定されることにより、ギャップ長dが0.6mmを超える従来のオゾン発生装置に比して、生成される窒素酸化物量は増加する傾向にある。さらに、流通経路である放電空間305の間隔（ギャップ長d）が狭くなることにより、オゾン発生装置3の放電空間305が稼動時に閉塞する可能性も増加する。しかしながら、その一方で、オゾン発生装置3の差圧が従来よりも大きくなり、放電空間305で発生する放電生成物の堆積・固着をオゾン発生装置3の外部から敏感に検知することができるようになる。従来のオゾン発生装置では、オゾン発生装置の差圧が小さいため、放電空間の状態をオゾン発生装置の外部からでは検知できなかった。

[0040] そのため、硝酸生成のリスクを冒してでも、大気開放によるメンテナンスが必須であり、実際に放電電極部を目視確認しなければならなかった。または、大気開放した時点では放電空間内での放電生成物の堆積・固着状態による被害が甚大となっていた。その点、本実施の形態にかかるオゾン発生装置3では、オゾン発生装置3の差圧が従来よりも大きくなることを利用し、外部から放電空間305および放電電極部30の状態を確認できるため、放電生成物の堆積・固着を未然に検知することが可能となる。したがって、従来、実施されてきた大気開放によるメンテナンスは不必要となる。

[0041] そこで、本実施の形態にかかるオゾン発生システムでは、以下のような動作制御を行うように構成した。

このオゾン発生システムには、（１）通常運転モード、（２）メンテナンスモードの２つの動作モードが設定されている。そして、露点計測部2および差圧計測部6からの信号を基に、制御部4は放電電極部30内での異常の兆候である差圧上昇あるいはガス露点の上昇を検知して、オゾン発生装置3内でのオゾン生成のための放電が継続した状態のまま動作モードを切り替えるようにしている。なお、ここで示す「異常」とは放電生成物の堆積・固着の兆候または初期段階を示し、放電や絶縁といった電氣的な異常を示すもの

ではない。

[0042] 図3に示すように、オゾン発生システムの運転を開始すると、オゾン利用設備200で必要なオゾン量に応じて、オゾンを発生させるための通常運転モードでの動作を開始する(ステップS10)。この通常運転モードは、上述した異常の兆候を検知しなく(ステップS20で「N」)なるまで、オゾン利用設備200での要求に応じて継続される。一方制御部4は、差圧計測部6からの信号を基に、差圧が所定値を超える、あるいは上昇速度が所定値を超えるとといった場合、放電電極部30の内部に放電生成物が蓄積したあるいはその兆候があると判断(ステップS20で「異常を検出=Y」)すると、後述するメンテナンスモードでの動作を開始(ステップS30)する。あるいは、露点計測部2からの信号を基に、露点が所定値以上に上がると、放電電極部30の内部に放電生成物が蓄積したあるいはその兆候があると判断(ステップS20で「異常を検出=Y」)し、メンテナンスモードでの動作を開始(ステップS30)する。

[0043] そして、このメンテナンスモードは、やはり、差圧あるいは露点に基づいて、異常が解消されたか否かを判断(ステップS40)し、解消されない(ステップS40で「N」)かぎり継続される。なお、オゾン発生システムの一般的な運用方法、つまり本実施の形態における通常運転モードにおいては、常に一定のオゾン発生量、投入電力密度および冷却水温度で動作するとは限らず、オゾン利用設備200側の条件や季節変化に伴う冷却水温度変化などにより運用条件は変化する。

[0044] 以下、通常運転モードもふくめ、詳細な動作条件およびそれに伴う現象について説明する。

本実施の形態で議論する放電生成物の固着は、放電空間305内の平均温度および放電空間305に接する電極管(接地電極301の内周面、高圧電極管304の外周面)の表面温度により制御できる。詳細に言えば、放電空間305に面する高圧電極管の表面温度は放電空間305の平均温度よりも必ず数℃～10℃程度高くなり、また、定常状態におけるそれぞれの温度は

、放電電極部 30 に設けられた流路に流される冷却水の温度、投入電力密度およびギャップ長 d により一義的に決定される。例として、高压電極管の表面温度（以下、電極管温度と称する。）により本実施の形態の動作モードを議論する。

[0045] 図 4 は本実施の形態におけるオゾン発生装置 3 に供給する冷却水温度と電極管温度との関係を示す。図において、破線で囲まれた領域 A がギャップ長 d と、オゾン発生装置 3 への投入電力密度と、供給される冷却水温度を操作パラメータとした場合の電極管温度の変動範囲になる。ギャップ長 d の範囲は $0.3 \sim 0.6 \text{ mm}$ 、投入電力密度の範囲は、 $0.05 \sim 0.6 \text{ W/cm}^2$ 、冷却水温度の範囲は、 5°C （冬場） $\sim 35^\circ\text{C}$ （夏場）とした。ギャップ長 d 、投入電力密度、冷却水温度をそれぞれ最大値（ $d = 0.6 \text{ mm}$ 、 0.6 W/cm^2 、 35°C ）にしたときが、電極管温度が最も高く（ 100°C ）なる。一方、ギャップ長 d 、投入電力密度、冷却水温度をそれぞれ最小値（ $d = 0.3 \text{ mm}$ 、 0.05 W/cm^2 、 5°C ）にしたときが、電極管温度が最も低く（ 7°C ）なる。

[0046] しかしながら、誘電体 302 であるガラス管には動作許容温度が設定されており、電極管温度の上限は 80°C になる。これは、ガラス管の温度上昇による絶縁破壊強度の低下を考慮したものであり、ガラス管の温度が 80°C を超えると絶縁破壊強度が低下しはじめ、絶縁破壊確率が上昇することに起因している。したがって、領域 A のうち、実線で囲まれた領域 B が、オゾン発生装置 3 として動作させることができる温度範囲となる。なお、図中、例えば実線と破線の位置をずらして記載しているが、これは、実線と破線を区別しやすいように、便宜上ずらしただけで、実際は重なっている。

[0047] 本実施の形態で開示する通常運転モードおよびメンテナンスモードにおいて、電極管温度は、冷却水温度、投入電力密度およびギャップ長 d （装置ごとに固定）により変化するが、領域 B の範囲内（誘電体 302 に起因する上限温度以下）に管理する必要がある、制御部 4 に、この条件がインストールされている。この温度条件を超過する場合は、オゾン発生装置 3 に故障が発

生する可能性があるため、放電を停止するようになっている。

[0048] つぎに、各動作モードについて説明する。

<通常運転モード>

通常運転モードは、生成されたオゾン化ガスをオゾン利用設備 200 へ直接供給する場合であり、露点計測部 2 および差圧計測部 6 から出力された信号では、異常の兆候を示すような状態であると判定されるような状態ではなく、通常通りに稼動している状態を示す。例えば、ガス露点が -60°C 以下に保たれ、差圧は初期差圧の約 1.5 倍未満に収まっており、急な変化がない場合、制御部 4 は異常兆候なし判断（ステップ S20 で「N」）して、通常運転モードを継続する。その際、電極管温度の温度条件が図 4 の領域 B の範囲内に収まるように、投入電力密度と冷却水温度を制御できるよう、図示しないオゾン発生装置 3 の駆動電源、および冷却系統（温度調節装置 7）の温度調節器 13 に指令を出す。

[0049] すなわち、異常兆候なしと判断される状況では、オゾンとともに発生する N_2O_5 、原料ガス水分と N_2O_5 の反応により生成される硝酸、および硝酸と金属部材の反応により生成する $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ が仮に存在したとしても、オゾン発生装置 3 の動作に対して全く問題とならないレベルの存在量である。この状態において、冷却系統（温度調節装置 7）においては、流量調節バルブ 11 は開状態、流量調節バルブ 12 は閉状態となり、冷却水はバイパス配管 10 を流れない。つまり、冷却器 8 の能力に応じた温度に冷却された冷却水がオゾン発生装置 3 に供給される。ここで、このバイパス配管 10 は一般的な冷却設備の流量調整用に供するものとは別の配管であることを断っておく。一般的なバイパス配管は、被冷却体に対して、冷却器および循環ポンプは必要冷却容量および供給冷却水流量を勘案して、その仕様が決定され、その冷却能力の調整用のため、通常、冷却器の中に組み込まれるものである。しかしながら、本実施の形態で示すバイパス配管 10 は前記冷却器・循環ポンプ側の能力調整用のものではない。

[0050] <メンテナンスモード>

メンテナンスモードは、露点計測部2または差圧計測部6の少なくとも一方から、制御部4が異常の兆候が発生していると判断するようなデータを示す信号が発せられているときに実行される。すなわち、オゾンとともに発生する N_2O_5 、原料ガス水分と N_2O_5 の反応により生成される硝酸、および硝酸と金属部材の反応により生成する $Fe(NO_3)_3$ の顕在化により、オゾン発生装置3の動作に対する異常発生の予兆、または異常が発生する状態であると判断したときに実行する動作モードである。つまり、この動作モードは、前記生成物のオゾン発生装置3内における固着量が正常動作時の値を超過している可能性が高い、または超過した状態に対して実行される。

[0051] 具体的には、メンテナンスモードでは、制御部4は、電極管温度が図4における領域C（ハッチング部）内に入るように動作条件を設定する。この領域Cは、運転動作可能範囲である領域Bのうち、後述する固体の N_2O_5 を気化除去するのに必要な温度下限以上の範囲である。基本的に温度を上げるモードであるので、投入電力密度の上昇および冷却水温度の上昇の少なくとも一方を行うことになる。そのため、発生させるオゾン量に変化が生じるため、オゾン化ガスを供給する処理プロセス側の条件に応じて、オゾン化ガスはバルブ14を介してオゾン利用設備200、バルブ15を介して排オゾン処理部5のいずれか一方または両者に供給される。

[0052] 冷却系統（温度調節装置7）の操作によって温度を上昇、つまり冷却水の温度は以下のようにして調節する。温度調節器13は、流量調節バルブ11および、流量調節バルブ12ともに、開状態にすることにより、冷却水は冷却器8だけではなく、バイパス配管10にも流れる。すなわち、オゾン発生装置3へ供給される冷却水の流量は維持されるが、一部は冷却器8によって熱を奪われることなくオゾン発生装置3に戻ることになるので、オゾン発生装置3に供給される冷却水の温度は、通常運転モード時よりも高くなる。

[0053] ここで、制御部4には、投入電力密度と冷却水温度に対する電極管温度の関係を示すテーブルが保存されている。そして、例えば、投入電力密度を変化させないで、冷却水温度のみを変化させる場合、温度調節器13は、オゾ

ン発生装置 3 に投入される電力密度から、電極管温度がメンテナンスモードで必要とされる温度に達するよう、冷却水温度の指示値を温度調節器 1 3 に出力する。温度調節器 1 3 は、指示された冷却水温度になるように流量調節バルブ 1 1 および流量調節バルブ 1 2 の開度を調整する。

[0054] 温度調節器 1 3 による流量調節バルブ 1 1、1 2 の制御が開始されると、オゾン発生装置 3 へ供給される冷却水温度が上昇し、それとともに電極管温度も上昇する（もちろん電極管温度の上昇に伴い、放電空間 3 0 5 の平均温度も上昇する）。この場合、さらに、オゾン発生装置 3 に投入する電力密度を操作し、電極管温度が領域 C 内を維持するように微調節する。

[0055] 電極管温度を上昇させ、領域 C 内で安定させるためには、冷却水温度と投入電力密度の双方を適宜制御する必要があり、両者の連携制御により、すばやく、かつ精度良く電極管温度を制御・安定化することができる。メンテナンスモード移行時には、ある運転状態の投入電力密度に応じ、電極管温度が領域 C 内を維持するように、流量調節バルブ 1 1 および 1 2 の開度調整が行われる。

[0056] オゾン発生装置 3 のような放電負荷において、運転（オゾン発生）状態下における急激な動作条件変更は想定外の不具合（極端に言えば、電極管の破損や異常放電の発生）を生じる可能性が考えられる。そのため、条件の変更はゆるやかに実施するのが好ましい。電極管温度および放電空間の温度変化に追従して、ガス圧力や電極管材料の比誘電率、誘電損失も変化するため、放電負荷の電気特性が変化する。したがって、この放電負荷の変化を無視した急激な動作条件変更は望ましくない。冷却水温度の上昇に伴う電極管温度の上昇は、比較的ゆるやかな事象であり、この観点から言えば、冷却水温度の操作は、動作条件変更の第一段階としては好都合である。しかしながら、ゆるやかな事象であることから、電極管温度が設定温度に到達するまでに時間を要し、また流量調節バルブ 1 1、1 2 の開度調整、つまり、冷却水温度の上昇だけでは、すばやく、かつ高精度に電極管温度が領域 C 内を維持できるようにすることは困難となる。

[0057] 一方、オゾン発生装置 3 の電流、電圧および電力の少なくともいずれか一つにより制御される投入電力密度の操作による電極管温度の上昇は、電極管そのものへの電氣的負荷を調整するために、その温度上昇は速い変化であり、また、微量制御が可能であるため、高精度な操作・制御が実現できる。したがって、第一段階の温度調節器 13 による流量調節バルブ 11、12 の開度調整時においては、電極管温度をゆるやかに変化させることで、放電負荷に対する急激な負荷を抑制しつつ、電極管温度を領域 C 近傍もしくは、領域 C 内に到達するような比較的マクロな調整を行う。そして、第一段階で調整した電極管温度に対して、第二段階である投入電力密度の操作により、領域 C 内を高精度かつ安定に維持する連携制御を実施し、すばやく、かつ信頼性の高い動作モード変更およびメンテナンスモードの実現が実施できる。

[0058] 当然ながら、上述の第一段階時点で温度調節器 13 による制御、つまり、流量調節バルブ 11 および 12 の開度調整と投入電力密度の操作を同時に、かつ両者の電極管温度に対する効果を双方が互いに監視しながら実施してもよい。ただし、この場合は、前記第一段階初期でのゆるやかな制御でなくなるため、冷却水温度の上昇による電極管温度上昇の時間遅れやガス圧力など前述の各種物性変化を考慮したうえで、投入電力密度を操作する必要がある。しかし、モード移行をよりすばやく実施する場合には好適である。このケースでも、電極管温度の領域 C 内における安定的な維持は、投入電力密度の操作による微調整により実施するのがよい。

[0059] 上述のモード移行に際して、投入電力密度との連携制御を行わない場合、つまり、温度調節器 13 による流量調節バルブの開度調整のみで電極管温度が領域 C 内を維持させる場合、上述のように、ゆるやかな変化であるため、放電負荷への急激な影響を与えることなく、モード移行が実現できる。しかし、モード移行に要する時間が長くなる欠点があるとともに、バルブ 11、12 の開度調整は、比較的、ラフな制御であり、投入電力密度の制御に比して、安定な温度制御が困難となる。さらに、仮に、電極管温度が領域 C の温度上限を超過しそうな状態に陥り、温度を急遽下降させる制御が必要となっ

た場合、制御の効果の発現、つまり温度変化がゆるやかであるため、領域C上限を超過してしまい、オゾン発生装置3が装置異常と判断して装置が停止する可能性がある。したがって、本実施の形態に示すモード移行およびメンテナンスモードの実現には、温度調節器13とオゾン発生装置3の投入電力密度、つまり電源との連携制御が必要である。特に、電極管温度の領域C内への微調整および安定維持には投入電力密度による制御が必須である。

[0060] 本実施の形態にかかるオゾン発生システムでは、メンテナンスモードにおける電極管温度領域としては、例えば、ガス供給圧力（≡放電空間305内のガス圧力P）が0.1 MPa G（≡0.2 MPa）のときは42℃、0.2 MPa G（≡0.3 MPa）のときは47.5℃を超えるように、オゾン発生装置3へ供給される冷却水温度および投入電力密度を調整する。このような条件でオゾン発生装置3を稼働させることにより、オゾン発生装置3内の放電生成物である N_2O_5 を昇華点以上の温度空間に存在させることができる。

[0061] ここで、領域Cの温度下限について、図5を用いて説明する。

図5は N_2O_5 の蒸気圧曲線で、横軸は飽和蒸気圧の絶対圧表記、縦軸が温度である。つまり、横軸を放電空間305内のガス圧力Pとすると、それに対応する温度以上に上げると、 N_2O_5 の飽和蒸気圧は雰囲気圧以上になり、100%気化させることができる。ここで、本実施の形態で最適化したオゾン発生装置3の動作圧力範囲は0.2～0.3 MPa（絶対圧）であるため、動作圧力下における N_2O_5 の昇華温度は大気圧時の32.4℃と異なり、0.2 MPa時に42℃、0.3 MPa時には47.5℃となる。

[0062] 従来のオゾン発生装置においては、放電生成物に関するメンテナンスはオゾン発生装置を停止し、大気圧下に開放するため、大気圧下における N_2O_5 の昇華温度（32.4℃）を基準にメンテナンス温度が設定されていた。しかしながら、オゾン発生装置3の動作中に N_2O_5 を除去するようにメンテナンスモードを設けた本実施の形態においては、動作圧力下における N_2O_5 の昇華温度（蒸気圧曲線）を考慮する必要がある、従来のオゾン発生装置のメ

メンテナンス温度よりも高い電極管温度の設定が必要となる。言い換えれば、従来のオゾン発生装置の温度設定方法では、 N_2O_5 を昇華させることができない温度領域が含まれるのに対し、本実施の形態にかかるオゾン発生システムのメンテナンスモードで設定された温度領域では、理論上、 N_2O_5 を全て昇華させることができる。

[0063] そこで、本実施の形態1にかかるオゾン発生システムでは、運転中に電極管温度をガス供給圧力が0.1 MPa Gのときは42℃、0.2 MPa Gのときは47.5℃を超えるように設定する。つまり、電極管温度を、 N_2O_5 の飽和蒸気圧が運転中の放電空間305内のガス圧力P以上になる温度に設定する。これにより、放電空間305内に存在する N_2O_5 が固体から気体へと相変化するため、放電空間305内での滞在確率および滞在時間が大幅に減少する。

[0064] さらに、 N_2O_5 が原料ガス中の微量水分と反応しても、生成する硝酸ごとオゾン発生装置3の後段側へ排気されるため、硝酸の放電空間305内での滞在確率および滞在時間も大幅に減少する。したがって、稼動時におけるオゾン発生装置3内の金属腐食の可能性は格段に減少する。また、 N_2O_5 と水分の反応により生成する $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 発生確率も、硝酸の滞在確率および滞在時間の減少に伴い減少する。ここで、電極管温度を50℃以上に設定すると、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ は分解するため、潮解性を有する $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の存在は減少する一方、硝酸を生成する。しかしながら、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 自身の発生量が減少しているため、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の分解により生成する硝酸量も極めて少なくなり、ガスに同伴する形でオゾン発生装置3の後段側へ流れていく。

[0065] 以上のように、このメンテナンスモードにより、電極管および放電空間305の温度が放電生成物の状態を変化させるに十分な値となるため、放電空間305内の放電生成物を物理的に除去することが可能となり、またオゾン発生装置3内における硝酸の滞在確率および滞在時間も大幅に抑制できる。したがって、オゾン発生システムを停止し、オゾン発生装置3を大気に開放

する必要がなく、開放点検回数を従来よりも大幅に削減できる。また、新たなメンテナンス用の機器などの追加も必要なく、オゾン発生装置 3 の無開放による放電部の清浄化をユーザサイドでも容易に実施できる。さらに、放電空間 305 の閉塞を未然に防止し、金属部材や高電圧電極 303 の腐食も抑制できるため、信頼性の高い高効率オゾン発生を継続させることができる。

[0066] 従来の大気開放によるメンテナンスには、多大な時間を要しており、ユーザに対してシステムの停止時間およびメンテナンス費用が負担となっていたが、本実施の形態では、上述のように、開放点検回数の大幅削減が可能となる。とくに、大気開放せずとも放電部を清浄化できるため、従来の大気開放によるメンテナンス終了後のオゾン発生装置内のガス露点の回復工程が不要となり、それに要していた多大な時間も省略される点も大きな効果である。また、オゾン発生に供せず、ガス露点の回復に要していた原料ガスの消費量も低減できる。

[0067] なお、上記メンテナンスモードによる運転制御については、放電空間 305 内でのガス圧力 P が一定と仮定して、電極管温度（冷却水温度）および投入電力密度を操作することについて記載したがこれに限ることはない。例えば、放電空間 305 内のガス圧力 P を N_2O_5 の飽和蒸気圧より低くなるように下げること、 N_2O_5 を気化させるようにしてもよい。あるいは、電極管温度および投入電力密度とともに、ガス圧力を組み合わせて操作することにより、 N_2O_5 の飽和蒸気圧を放電空間 305 内のガス圧力より高くするようにしてもよい。

[0068] 一般に、放電負荷において、その稼動時にガス圧力を低下させると、放電状態が変化し、放電部へ悪影響が生じることがある。本実施の形態にかかるオゾン発生システムでは、メンテナンスモードでガス圧力 P を降下させたときに、オゾン発生装置 3 において、インピーダンスの低下によって放電が発生しやすくなり、場合によっては異常な放電の発生や電力の増大が懸念される。しかしながら、本実施の形態におけるオゾン発生システムで使用するオゾン発生装置 3 で設定されたギャップ長 d およびガス圧力 P の範囲内では、

放電を維持するために必要な電圧の変化量は最大でも 1.5 kV 程度である。この程度の変化量は、オゾン発生に要する放電の安定性を阻害するものではない。

[0069] また、オゾン発生装置 3 に印加される電圧が一定の場合（10 kV 程度）、ガス圧力 P の低下に伴い、放電空間以外の誘電体に印加される電圧が 1.5 kV 程度上昇する可能性があるが、誘電体の絶縁設計は使用電圧の少なくとも 1.5 倍以上の電圧に耐えるようになされているため、異常な放電や破損が発生する可能性は極めて低い。さらに、言い換えれば、ガス圧力低下前よりも低い印加電圧で所定の電力をオゾン発生装置 3 へ投入できるようになるため、印加電圧が一定の場合、投入電力は増大する。投入電力の増大は、電極管温度の上昇と等価であるため、ガス圧力 P の操作量によっては、ガス圧力操作の効果に加え、電極管温度の上昇効果も発生し、より N_2O_5 が気化することになる。電極管温度は、本実施の形態で示したメンテナンスモードでは、図 4（で示した領域 C 内に収める）に基づき制御されているため、例えば電極管を破損するような温度領域でオゾン発生装置 3 を稼動することはない。

[0070] 上述のように、ガス圧力 P を変化させることにより、 N_2O_5 の気化を促進することができる。ガス圧力 P の変化により、放電の安定性を損なうレベルではないものの、可能な限り、急激な動作条件の変化は回避したい。その場合、温度調節器 13 とガス圧力、すなわち、ガス供給装置 1 との連携制御を実施することにより、 N_2O_5 の飽和蒸気圧を放電空間 305 内のガス圧力より高くすることができる。この場合、ガス圧力の低下量を少なくできるため、放電への影響は極めて少なくなる。

[0071] モード移行に際し、電極管温度を上昇させるべく、温度調節器 13 により流量調節バルブ 11 および 12 の開度調整を実施し、電極管温度が領域 C 内を維持する方向へ変化させる。この動作を第一段階とする。第一段階の動作は、ゆるやかな変化であり、放電負荷への影響は小さく、その制御には好適である。そのため、比較的ラフな制御で問題ない。第一段階の動作を経て、

または動作を継続しながら、ガス圧力 P を低下させる。これを第二段階とする。ガス圧力 P の低下には、ガス供給装置 1 の吐出圧力を低下させる（ガス供給量を低減させる）、または、オゾン発生装置 3 のオゾン化ガス出口側バルブの開度を大きくすることにより簡単に実現できる。このように、冷却水温度の上昇に伴い、電極管温度が上昇し、 N_2O_5 の飽和蒸気圧も上昇する。さらに、ガス圧力 P を低下させることにより、 N_2O_5 の飽和蒸気圧を放電空間 305 内のガス圧力より高くすることができる。ガス圧力 P の操作前に電極管温度の上昇によって N_2O_5 の飽和蒸気圧を上昇させることにより、ガス圧力 P の低下分（変化量）を、ガス圧力 P を単独で操作する場合に比して少なくできる。

[0072] 当然ながら、上述の第一段階時点で温度調節器 13 による制御、つまり、流量調節バルブ 11 および 12 の開度調整とガス圧力 P の操作を同時に、かつ両者の N_2O_5 の飽和蒸気圧に対する効果を双方が互いに監視しながら実施してもよい。ただし、この場合は、前記第一段階初期でのゆるやかな制御でなくなるため、冷却水温度の上昇による電極管温度上昇の時間遅れを考慮したうえで、ガス圧力 P を操作する必要がある。モード移行をよりすばやく実施する場合には好適である。

[0073] 温度調節器 13 による冷却水温度の上昇はゆるやかな事象であり、一方、ガス圧力 P の変化は速い事象である。したがって、冷却水温度単独の操作に比して、温度調節器 13 とガス供給装置 1 の連携制御を用いた場合、すばやいモード移行が実現できる。また、同様に、温度調節器 13 とガス供給装置 1 に加え、投入電力密度の操作も連携動作に加えることにより、より高精度かつ安定なモード移行およびメンテナンスモードを実現することができる。特に、電極管温度の領域 C 内の維持およびその安定性には、投入電力密度の微調整が好適である。

[0074] メンテナンスモードは図 3 に示したように、制御部 4 が、露点計測部 2 および差圧計測部 6 から出力された露点あるいは差圧のデータに基づいて、異常が解消されたと判断した段階（ステップ S40 で「Y」）で終了し、オゾ

ン発生装置 3 は稼動した状態で自動的に通常運転モードに戻る。すなわち、投入電力密度およびオゾン発生装置 3 へ供給される冷却水温度は初期の稼動条件に自動的に戻り、正常動作を継続することになる。

[0075] ただし、このメンテナンスモードにおいては、通常動作モードよりも電極管温度および放電空間 305 の平均温度が上昇する方向に移行するため、オゾン発生装置 3 のオゾン発生効率は低下する。つまり、原料ガス供給量を一定に維持していると、出力されるオゾン濃度が低下することになる。本実施の形態にかかるオゾン発生システムを適用しているオゾン利用設備 200 が、メンテナンスモードにおける一時的なオゾン濃度低下が了承されないような場合、少なくともオゾン濃度が回復するまでは、前述のように、出力オゾン化ガスを排オゾン処理部 5 へ直接送り、通常運転モードに自動復帰した後、オゾン利用設備 200 へオゾン化ガスを供給すればよい。

[0076] また、メンテナンスモードにおいても通常運転モードに比して、オゾン発生量を維持する必要がある場合は、オゾン濃度は低下するものの、原料ガス供給量を増加させることでオゾン発生量を確保することができる。逆に、オゾン濃度を維持する必要がある場合は、オゾン発生量は低下するものの、原料ガス供給量を減少させることでオゾン濃度を確保することができる。これらの状態が了承される場合は、オゾン利用設備 200 にオゾン化ガスの供給を継続することができる。

[0077] 以上のように、本発明の実施の形態 1 にかかるオゾン発生システムによれば、オゾン発生のための放電空間 305 を形成するよう対向配置された放電電極（放電電極部）30 と、放電空間 305 にオゾン発生の原料ガスとして、加圧空気を供給するガス供給装置 1 と、放電電極（放電電極部 30）に放電のための電力を供給するオゾン発生装置 3 内の図示しない電源装置と、放電電極（放電電極部 30）の温度を調節する温度調節装置として機能する冷却系統（温度調節装置 7）と、ガス供給装置 1 と電源装置と温度調節装置 7 とを連携制御して、放電空間 305 でのオゾンの発生を制御する制御部 4 と、放電空間 305 に供給される原料ガスの露点および放電空間 305 内での

原料ガスの圧力損失のうち、少なくとも一方を計測する計測部として機能する露点計測部 2 と差圧計測部 6 と、を備え、制御部 4 は、放電空間 305 でのオゾンの発生中に、露点計測部 2、差圧計測部 6 から出力された露点および圧力損失のうち少なくとも一方の値に基づいて、放電空間 305 内での異常またはその兆候があるか否かを判断し、放電空間 305 内での異常またはその兆候があると判断すると、放電空間 305 でのオゾンの発生を継続した状態で、放電空間 305 内のガス圧力 P よりも放電電極（放電電極部 30）の温度に対応する五酸化二窒素（ N_2O_5 ）の飽和蒸気圧の方が高くなるように、放電電極（放電電極部 30）の温度を上昇させる、つまりメンテナンスモードを実行できるように構成した。

[0078] そのため、放電空間 305 内に固体の五酸化二窒素が蓄積することによる異常あるいはその兆候を的確に判断することができる。そして、その判断によって異常あるいはその兆候があると分かった場合、運転（オゾン発生）を継続した状態で、 N_2O_5 を気化させて、異常状態を解除することができる。これにより、オゾン生成を中断することなく、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得ることができる。

[0079] つまり、オゾン発生装置 3 の放電を停止することなく、またオゾン発生装置 3 を大気に開放することなく、放電空間 305 および放電電極（放電電極部 30）に蓄積、固着した放電生成物を除去することができる。そのため、従来、メーカより推奨されていた定期メンテナンスに対する労力、費用および時間を大幅に削減でき、大気開放に伴う硝酸発生が抑制される。これにより、装置の信頼性を大幅に高めることができる。

[0080] とくに、制御部 4 は、放電空間 305 に投入される投入電力密度、放電電極（放電電極部 30）を流通する冷却水温度、および放電空間 305 内のガス圧力 P を制御し、放電電極（放電電極部 30）の温度を上昇させるように構成すれば、より高精度かつ安定なモード移行およびメンテナンスモードを実現することができる。

[0081] あるいは、制御部 4 は、放電空間 305 内のガス圧力 P よりも放電電極（

放電電極部 30) の温度に対応する五酸化二窒素の飽和蒸気圧の方が高くなるように、大気圧を超える所定圧力まで放電空間 305 内のガス圧力 P を下げるように構成すると、温度を大きく変化させなくとも、 N_2O_5 を気化させて異常状態を解除することができる。あるいは、ガス圧力 P は迅速に変化させることができるので、温度上昇による効果よりも早く N_2O_5 を除去する効果が顕れる。

[0082] とくに、放電空間 305 内のガス圧力 P が、ゲージ圧で 0.1 MPa 以上 0.2 MPa 未満に設定されている場合、40℃程度の温度では気化させることができない場合があるが、42℃～47.5℃の範囲でガス圧力 P に応じて昇温すれば、オゾン発生効率が向上するとともに、 N_2O_5 を気化させる効果が顕著に顕れる。

[0083] とくに、放電電極（放電電極部 30）の間隔である空隙長 d が、0.3 mm 以上かつ 0.6 mm 以下である場合、オゾン発生効率が向上するとともに、上記効果が特に顕著に顕れる。

[0084] また、放電電極部 30 は、放電電極部 30 で発生した熱を除去するための冷却水が流通できるように構成（接地電極 301 およびオゾン発生装置 3 の筐体となるタンクによって）され、温度調節装置は、冷却水をオゾン発生装置 3 に循環供給させる循環ポンプ 9 と、冷却水を吸熱により冷却する冷却器 8 とを有する冷却系統（温度調節装置 7）であり、さらに、放電電極（放電電極部 30）（が設けられたオゾン発生装置 3）から出た冷却水が冷却器 8 を通ってオゾン発生装置 3 に戻る主配管と、冷却器 8 を通らずにオゾン発生装置 3 に戻るバイパス配管 10 とが設けられ、バイパス配管 10 に流す冷却水の比率を増加させることで、オゾン発生装置 3 に供給する冷却水の水温を上昇させた。つまり、冷却器 8 による冷却水からの吸熱量を減少させることにより、冷却水の水温を上昇させ、放電電極部 30 の温度を上昇させるように構成したので、加熱のような余分なエネルギーを必要としない。それにもかかわらず、オゾン生成を中断することなく、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得ることができる。

[0085] また、以上のように、本発明の実施の形態１にかかるオゾン発生方法によれば、間隔 d をあけて対向する電極である放電電極部３０が形成する放電空間３０５に、加圧空気を原料ガスとして供給するとともに、放電を生じさせてオゾンを発生させるオゾン発生方法であって、オゾン発生中である通常モード運転中（ステップＳ１０）に、放電空間３０５に供給される原料ガスの露点および放電空間３０５での原料ガスの圧力損失のうち、少なくとも一方を計測し、計測した露点および圧力損失のうち少なくとも一方のデータに基づいて、放電空間３０５内での異常またはその兆候があるか否かを判断（ステップＳ２０）し、放電空間３０５内での異常またはその兆候があると判断する（ステップＳ２０で「Ｙ」）と、オゾン発生を継続した状態で、放電空間３０５内のガス圧力 P よりも放電電極部３０の温度である電極管温度に対応する五酸化二窒素の飽和蒸気圧の方が高くなるように、放電電極部３０の温度を上昇させるメンテナンスモードに移行する（ステップＳ３０）ように、構成した。

[0086] そのため、放電空間３０５内に固体の五酸化二窒素が蓄積することによる異常あるいはその兆候を的確に判断することができる。そして、その判断によって異常あるいはその兆候があると分かった場合、運転（オゾン発生）を継続した状態で、 N_2O_5 を気化させて、異常状態を解除することができる。これにより、オゾン生成を中断することなく、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生方法を得ることができる。

[0087] 実施の形態２．

本発明の実施の形態２にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態２にかかるオゾン発生システムは、基本的な構成および動作は実施の形態１と同様であるが、オゾン発生装置とオゾン利用設備との間に硝酸濃度計測部と硝酸トラップを組み込んでいる点が特徴的である。図６は本実施の形態２にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、実施の形態１にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を付し、特に必要のな

い限り説明を省略する。

[0088] 図6に示すように、本実施の形態2にかかるオゾン発生システムでは、ガスフロー系統の後段となる、オゾン発生装置3とオゾン利用設備200（厳密にはバルブ14）との間に設置した硝酸濃度計測部16と硝酸トラップ17、および硝酸トラップ17へのガスの流れを制御するバルブ18とバルブ19を備えている。硝酸濃度計測部16は、通常運転モードにおいては、露点計測部2と差圧計測部6と同様に状態監視を実施し、オゾン化ガスに含有される硝酸濃度を計測して制御部4に信号出力する。ここで、制御部4は、硝酸濃度計測部16から出力された信号が、正常運転時の2倍程度の硝酸濃度を第1の閾値として、第1の閾値に達していることを示した場合にも、実施の形態1における図3のステップS20で説明したのと同様に、異常あるいはその兆候が発生したと判断し、メンテナンスモードへ移行する。そして、メンテナンスモードとして、実施の形態1で説明したように、冷却水温度を所定値以上に上昇させるように、温度調節器13に指令する。

[0089] 一方、本実施の形態2においては、メンテナンスモードにおいて、硝酸濃度計測部16から出力された硝酸濃度が、さらに大きな第2の閾値より大きくなった場合、さらに、オゾン発生装置3から出力されたガスを硝酸トラップ17あるいは、排オゾン処理部5のいずれかまたは両者へガスを送るように制御する。

[0090] 異常あるいはその兆候の有無は、露点計測部2および差圧計測部6から出力された露点あるいは差圧のデータに加え、硝酸濃度計測部16から出力された硝酸濃度のデータをも考慮して判断される。そのため、メンテナンスモードは、露点あるいは差圧のデータに加え、硝酸濃度のデータにも基づいて、異常が解消されたと判断した段階（実施の形態1におけるステップS40に対応）で終了し、オゾン発生装置3は稼動した状態で自動的に通常運転モードに戻る。すなわち、投入電力密度およびオゾン発生装置3へ供給される冷却水温度は初期の稼動条件に自動的に戻り、正常動作を継続することになる。

- [0091] ここで、例えば、硝酸濃度が第2の閾値より小さい場合は、バルブ18および19を操作（バルブ18：開、バルブ19：閉）して、硝酸トラップ17を経由せずにバルブ14を介してオゾン利用設備200、またはバルブ15を介して排オゾン処理部5のいずれかまたは両者へガスを送ることができる。さらに、制御部4が、バルブ14およびバルブ15の開閉指令を硝酸濃度計測部16からの出力に応じて出力することにより、自動的にオゾン化ガスの供給先を決定することもできる。
- [0092] 硝酸トラップ17には例えばガスの水洗浄装置が適用できる。硝酸トラップ17により、オゾン発生装置3から後段の金属配管内への硝酸付着量を制御できるため、金属配管の硝酸による腐食も低減できる。さらに、排オゾン処理部5への硝酸導入も低減されるため、排オゾン処理部の長寿命化も実現できる。
- [0093] また、本実施の形態においては、硝酸濃度計測部16を設置し、メンテナンスモード移行条件に硝酸濃度を採用しているが、硝酸濃度計測部16をNO_x濃度計測部に変更し、NO_x濃度を移行条件として採用してもよい。
- [0094] 以上のように、本発明の実施の形態2にかかるオゾン発生システムによれば、実施の形態1と同様に、メンテナンスモードを実行できる構成を備えるとともに、オゾン発生装置3（厳密には放電空間305）から出力されたオゾン化ガス中の硝酸濃度を計測する硝酸濃度計測部16またはNO_x濃度を計測する図示しないNO_x濃度計測部を含み、オゾン化ガス中の硝酸成分を取り除く硝酸除去部である硝酸トラップ17とが、オゾン発生装置3の下流に設けられ、制御部4は、硝酸濃度計測部16から出力された硝酸濃度の値またはNO_x濃度計測部から出力されたNO_x濃度が第1の値よりも高い場合に、オゾン発生装置3内での異常またはその兆候があると判断し、硝酸濃度の値またはNO_x濃度の値が、第1の値よりも高い第2の値よりも高い場合に、その濃度に応じてオゾン化ガスの少なくとも一部を硝酸除去部（硝酸トラップ17）に通すように制御するように構成した。
- [0095] そのため、実施の形態1と同様に、オゾン発生装置3の放電を停止するこ

となく、またオゾン発生装置 3 を大気には開放することなく、放電空間 305 および放電電極部 30 に蓄積、固着した放電生成物を除去することができる。そのため、従来、メーカーより推奨されていた定期メンテナンスに対する労力、費用および時間を大幅に削減でき、かつ装置の信頼性を大幅に高めることができる。

[0096] さらに、実施の形態 2 の特徴として、オゾン発生装置 3 から排出される硝酸の濃度を計測する硝酸濃度計測部 16 および硝酸をトラップする硝酸除去部である硝酸トラップ 17 を設けたため、通常運転時にはメンテナンスモード移行条件として硝酸濃度をガス露点および差圧に加えて利用でき、メンテナンスモードにおいては、計測した硝酸濃度に応じて、硝酸トラップの利用およびオゾン化ガスの供給先を選択できるため、通常運転モードと異なった組成のオゾン化ガスが処理プロセスに使用できない場合も排オゾン処理部 5 にて直接処理できるため、オゾン発生装置 3 を停止する必要が全くない。

[0097] 実施の形態 3.

本発明の実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムは、基本的な構成および動作は実施の形態 1 と同様であるが、冷却系統において、バイパス配管を設置する代わりに、冷却器の動作を制御するようにした点が特徴的である。図 7 は本実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、実施の形態 1 にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を付し、特に必要のない限り説明を省略する。

[0098] 図 7 に示すように、本実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムでは、冷却系統（温度調節装置 7）には、オゾン発生装置 3 を冷却するための冷却水を循環させるための循環ポンプ 9 と、オゾン発生装置 3 で発生した熱を吸収して温度が上昇した冷却水を冷却する冷却器 8 と、オゾン発生装置 3 に供給する水温を調節するための温度調節器 13 と、を備えている。

[0099] そして、オゾン発生装置 3、循環ポンプ 9、冷却器 8 が、図中太線で示す

配管によって、ループ状に接続され、オゾン発生装置 3 と循環ポンプ 9 と冷却器 8 との間を循環する冷却ラインを構成する。一方、温度調節器 13 の指示により、冷却器 8 の冷却（熱交換）機能を制御（可動／停止）できるようにしており、これにより、冷却器 8 から出力される冷却水の水温を調整することができる。

[0100] そして、本実施の形態 3 においても、実施の形態 1 と同様に（１）通常運転モードと（２）メンテナンスモードの２つの動作モードが設定されており、制御部 4 が異常あるいはその兆候を検知すると、オゾン発生装置 3 の放電が継続した状態のまま両モードが切り替わることを特徴としている。すなわち、通常運転モードで稼動していたオゾン発生装置 3 における硝酸生成および放電生成物の蓄積を原料ガス露点およびオゾン発生装置 3 の差圧により検知し、異常と判断される場合に放電（オゾン発生）を継続した状態のまま、メンテナンスモードに移行することができる。

[0101] 露点計測部 2 または差圧計測部 6 の少なくとも一方から、制御部 4 が異常の兆候が発生していると判断するようなデータを示す信号が発せられ、メンテナンスモードに移行すると、温度調節器 13 は、冷却器 8 の冷却（熱交換）機能を停止させる。これにより、冷却系統（温度調節装置 7）を流通する冷却水の温度は循環ポンプ 9 の軸動力に基づく熱エネルギーとオゾン発生装置 3 の発熱により上昇し、オゾン発生装置 3 内の電極管および放電空間 305 の温度を実施の形態 1 で示した温度範囲に入るまで上昇させることができる。その後は、冷却器 8 の機能を適宜入／切制御することで、冷却水の温度を所望の範囲に制御することができる。また、冷却機能の制御と同時に、冷却器 8 において、オゾン発生装置 3 への吐出流量を低減することにより、冷却水の温度上昇速度を向上させることもできる。

[0102] つまり、本実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムでも、電極管温度を、 N_2O_5 の飽和蒸気圧が運転中の放電空間 305 内のガス圧力 P 以上になる温度に設定できる。これにより、放電空間 305 内に存在する N_2O_5 が固体から気体へと相変化するため、放電空間 305 および電極部への放電生成物

の固着を抑制する。したがって、このモードにより、オゾン発生を停止、オゾン発生装置を開放することなく、電極部のメンテナンスが実施できる。

[0103] メンテナンスモードは、実施の形態 1 における図 3 で説明したのと同様に、制御部 4 が、露点計測部 2 および差圧計測部 6 から出力された露点あるいは差圧のデータに基づいて、異常が解消されたと判断した段階（ステップ S 40 で「Y」）で終了し、オゾン発生装置 3 は稼動した状態で自動的に通常運転モードに戻る。すなわち、投入電力密度およびオゾン発生装置 3 へ供給される冷却水温度は初期の稼動条件に自動的に戻り、正常動作を継続することになる。

[0104] また、冷却器 8 の冷却（熱交換）機能の制御（稼動／停止）により、冷却水の温度を制御することを示したが、冷却器 8 がチラーの場合、熱交換の機能は維持し、循環水（オゾン発生装置 3 へ供給する冷却水）の設定温度を制御部 4 からの信号を受け上昇させてもよい。

[0105] また、冷却器 8 の一次側（図示しない）の熱媒体（水、空気など）の一次側循環流量を制御することにより、熱交換機能を抑制し、二次側（オゾン発生装置 3 への冷却水）の温度を制御してもよい。一次側熱媒体回路内に制御部 4 からの信号を受け動作する流量調整バルブやバイパス回路を設けることにより実現することができる。

[0106] 以上のように、本実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムによれば、放電電極（放電電極部 30）は、放電電極部 30 で発生した熱を除去するための冷却水が流通できるように構成（接地電極 301 およびオゾン発生装置 3 の筐体となるタンクによって）され、温度調節装置は、冷却水をオゾン発生装置 3 に循環供給させる循環ポンプ 9 と、冷却水を吸熱により冷却する冷却器 8 とを有する冷却系統（温度調節装置 7）であり、さらに、冷却器 8 自体の冷却器機能を調整できるようにし、冷却器 8 の冷却能力を減少させることで、冷却水の水温を上昇させた。つまり、冷却器 8 自体の能力を変化させて冷却水からの吸熱量を減少させることにより、冷却水の水温を上昇させ、放電電極部 30 の温度を上昇させるように構成したので、加熱のような余分な

エネルギーを必要としない。それにもかかわらず、オゾン生成を中断することなく、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得ることができる。また、主系統とバイパス系統のような冷却水の配管系統の切り替えが不要なので、冷却水量や水温の変化が緩やかで、メンテナンスモードと通常運転モードとの切り替えがスムーズに行える。

[0107] そのため、実施の形態１と同様に、オゾン発生装置３の放電を停止することなく、またオゾン発生装置３を大気に開放することなく、放電空間３０５および放電電極部３０に蓄積、固着した放電生成物を除去することができる。そのため、従来、メーカより推奨されていた定期メンテナンスに対する労力、費用および時間を大幅に削減でき、大気開放に伴う硝酸発生が抑制される。これにより、装置の信頼性を大幅に高めることができる。

[0108] 実施の形態４．

本発明の実施の形態４にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態４にかかるオゾン発生システムは、実施の形態２にかかるオゾン発生システムのガスフロー系統と実施の形態３にかかるオゾン発生システムの冷却系統を組み合わせたものである。その他、基本的な構成および動作は実施の形態１～３と同様である。

[0109] 図８は本実施の形態４にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、実施の形態１～３にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を付し、特に必要のない限り説明を省略する。図８に示すように、本実施の形態４にかかるオゾン発生システムでは、オゾン発生装置３とオゾン利用設備２００との間に設置した硝酸濃度計測部１６と硝酸トラップ１７、および硝酸トラップへのガスの流れを制御するバルブ１８とバルブ１９を備えている。

[0110] そして、冷却系統（温度調節装置７）には、オゾン発生装置３を冷却するための冷却水を循環させるための循環ポンプ９と、オゾン発生装置３で発生した熱を吸収して温度が上昇した冷却水を冷却する冷却器８と、オゾン発生装置３に供給する水温を調節するための温度調節器１３と、を備え、温度調

節器 13 の指示により、冷却器 8 の冷却（熱交換）機能を制御（停止／実施）できるようにしている。

[0111] 以上のように、本実施の形態 4 にかかるオゾン発生システムによれば、実施の形態 1 ～ 3 と同様のメンテナンスモードを設けたために、オゾン発生装置 3 の放電を停止することなく、またオゾン発生装置 3 を大気に開放することなく、放電空間 305 および放電電極部 30 に蓄積、固着した放電生成物を除去することができる。そのため、従来、メーカーより推奨されていた定期メンテナンスに対する労力、費用および時間を大幅に削減でき、大気開放に伴う硝酸発生が抑制される。したがって、装置の腐食に対する信頼性を大幅に高めることができる。

[0112] さらに、実施の形態 2 と同様に、オゾン発生装置 3 から排出される硝酸の濃度を計測する硝酸濃度計測部 16 および硝酸をトラップする硝酸除去部（硝酸トラップ 17）を設けたため、通常運転時にはメンテナンスモード移行条件として硝酸濃度をガス露点および差圧に加えて利用でき、メンテナンスモードにおいては、計測した硝酸濃度に応じて、硝酸トラップ 17 の利用およびオゾン化ガスの供給先を選択できるため、通常運転モードと異なった組成のオゾン化ガスが処理プロセスに使用できない場合も排オゾン処理部 5 にて直接処理できるため、オゾン発生装置 3 を停止する必要が全くない。

[0113] 実施の形態 5.

本発明の実施の形態 5 にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態 5 にかかるオゾン発生システムは、実施の形態 3 にかかるオゾン発生システムに対して、冷却系統において、オゾン発生装置を駆動させる電源装置の排熱と冷却水との熱交換を行う熱交換器を設置するようにした点が特徴的である。その他基本的な構成および動作は上記各実施の形態 1 ～ 4 で説明したのと同様である。

[0114] 図 9 は本実施の形態 5 にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、各実施の形態 1 ～ 4 にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を

付し、特に必要のない限り説明を省略する。図 9 に示すように、本実施の形態 5 にかかるオゾン発生システムでは、冷却系統（温度調節装置 7）には、オゾン発生装置 3 と循環ポンプ 9 との間に、オゾン発生装置 3 を駆動させる電源装置の排熱と冷却水との熱交換を行う熱交換器 20 を設けたものである。

[0115] そして、オゾン発生装置 3、熱交換器 20、循環ポンプ 9、冷却器 8 が、図中太線で示す配管によって、ループ状に接続され、オゾン発生装置 3 と熱交換器 20 と循環ポンプ 9 と冷却器 8 との間を循環する冷却ラインを構成する。これにより、冷却器 8 から出力される冷却水の水温を調整することができるとともに、熱交換器 20 から付与される熱によって、水温の上昇速度を上げることができる。

[0116] そして、本実施の形態 5 においても、実施の形態 1 と同様に（１）通常運転モードと（２）メンテナンスモードの 2 つの動作モードが設定されており、制御部 4 が異常あるいはその兆候を検知すると、オゾン発生装置 3 の放電が継続した状態のまま両モードが切り替わることを特徴としている。すなわち、通常運転モードで稼動していたオゾン発生装置 3 における硝酸生成および放電生成物の蓄積を原料ガス露点およびオゾン発生装置 3 の差圧により検知し、異常と判断される場合に放電を継続した状態のまま、メンテナンスモードに移行することができる。

[0117] 露点計測部 2 または差圧計測部 6 の少なくとも一方から、制御部 4 が異常の兆候が発生していると判断するようなデータを示す信号が発せられ、メンテナンスモードに移行すると、温度調節器 13 は、冷却器 8 の冷却（熱交換）機能を停止させる。これにより、冷却系統（温度調節装置 7）を流通する冷却水の温度は循環ポンプ 9 の軸動力に基づく熱エネルギーだけでなく、熱交換器 20 による電源設備の排熱とオゾン発生装置 3 の発熱により、実施の形態 3 よりも速く上昇する。このため、オゾン発生装置 3 内の電極管および放電空間 305 の温度を所定の温度範囲に入るまでの時間を短縮することができる。

[0118] つまり、本実施の形態5にかかるオゾン発生システムでも、電極管温度を、 N_2O_5 の飽和蒸気圧が運転中の放電空間305内のガス圧力P以上になる温度に設定できる。さらに、熱交換器20からの熱により、好ましい温度に容易に素早く昇温することができる。これにより、放電空間305内に存在する N_2O_5 を迅速に固体から気体へと相変化させ、放電空間305および電極部への放電生成物の固着を抑制する。したがって、このモードにより、オゾン発生を停止、オゾン発生装置を開放することなく、電極部のメンテナンスが実施できる。

[0119] メンテナンスモードは、実施の形態3と同様に、制御部4が、露点計測部2および差圧計測部6から出力された露点あるいは差圧のデータに基づいて、異常が解消されたと判断した段階（ステップS40で「Y」）で終了し、オゾン発生装置3は稼動した状態で自動的に通常運転モードに戻る。すなわち、投入電力密度およびオゾン発生装置3へ供給される冷却水温度は初期の稼動条件に自動的に戻り、正常動作を継続することになる。

[0120] 以上のように本実施の形態5にかかるオゾン発生システムによれば、放電電極部30は、放電電極部30で発生した熱を除去するための冷却水が流通できるように構成（接地電極301およびオゾン発生装置3の筐体となるタンクによって）され、温度調節装置は、冷却水をオゾン発生装置3に循環供給させる循環ポンプ9と、冷却水を吸熱により冷却する冷却器8と、さらに、放電空間305で放電を生じさせるための電源からの排熱で冷却水を温める熱交換器20とを有する冷却系統（温度調節装置7）であるので、加熱のような余分なエネルギーを必要としない。そのため、上記実施の形態1～4にかかるオゾン発生システムよりも、冷却水の水温を素早く上昇させることができる。

[0121] 実施の形態6.

本発明の実施の形態6にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態6にかかるオゾン発生システムは、実施の形態2にかかるオゾン発生システムのガスフロー系統と実施の形態5にかかるオゾン発生システム

の冷却システムを組み合わせたものである。その他、基本的な構成および動作は実施の形態１～５と同様である。

[0122] 図１０は本実施の形態６にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、実施の形態１～５にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を付し、特に必要のない限り説明を省略する。図１０に示すように、本実施の形態６にかかるオゾン発生システムでは、オゾン発生装置３とオゾン利用設備２００との間に設置した硝酸濃度計測部１６と硝酸トラップ１７、および硝酸トラップへのガスの流れを制御するバルブ１８とバルブ１９を備えている。

[0123] また、冷却系統（温度調節装置７）には、オゾン発生装置３と循環ポンプ９との間に、オゾン発生装置３を駆動させる電源装置の排熱と冷却水との熱交換を行う熱交換器２０を設けている。そして、オゾン発生装置３、熱交換器２０、循環ポンプ９、冷却器８が、図中太線で示す配管によって、ループ状に接続され、オゾン発生装置３と熱交換器２０と循環ポンプ９と冷却器８との間を循環する冷却ラインを構成する。冷却器８は温度調節器１３の指示により、熱交換機能を入り切できるので、冷却器８から出力される冷却水の水温を調整することができるとともに、熱交換器２０から付与される熱によって、水温の上昇速度を上げることができる。

[0124] つまり、実施の形態５に比べて、オゾン発生装置３から排出される硝酸の濃度を計測する硝酸濃度計測部１６および硝酸をトラップする硝酸除去部（硝酸トラップ１７）を設けたため、通常運転時にはメンテナンスモード移行条件として硝酸濃度をガス露点および差圧に加えて利用でき、メンテナンスモードにおいては、計測した硝酸濃度に応じて、硝酸トラップの利用およびオゾン化ガスの供給先を選択できるため、通常運転モードと異なった組成のオゾン化ガスが処理プロセスに使用できない場合も排オゾン処理部５にて直接処理できるため、オゾン発生装置３を停止する必要が全くない。さらに、オゾン発生装置３の電源からの排熱を回収する熱交換器２０を冷却系統（温

度調節装置 7) に設けたことにより、好ましい温度以上に容易に素早く上げることができる。これにより、放電空間 305 内に存在する N_2O_5 を迅速に固体から気体へと相変化させ、放電空間 305 および電極部への放電生成物の固着を抑制する。したがって、メンテナンスモードにより、オゾン発生を停止、オゾン発生装置を開放することなく、電極部のメンテナンスが実施できる。

[0125] 実施の形態 7.

本発明の実施の形態 7 にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態 7 にかかるオゾン発生システムは、実施の形態 1～6 にかかるオゾン発生システムと基本的な構成および動作は同様であるが、オゾン発生装置に導入する原料ガスが酸素ガスである点が特徴的である。

[0126] 図 11 は本実施の形態 7 にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、実施の形態 1～6 にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を付し、特に必要のない限り説明を省略する。図 11 に示すように、本実施の形態 7 にかかるオゾン発生システムでは、オゾン発生装置 22 へ原料ガスを供給するガス供給装置 21 が上述した酸素リッチな混合ガスを供給する点で実施の形態 1～6 と異なる。なお、放電電極部（実施の形態 1～6 の放電電極部 30 に対応）の構成については、実施の形態 1 で用いた図 2 を援用して説明を行う。

[0127] 実施の形態 1～6 においては、オゾン発生装置 3 の原料ガスは、空気もしくは窒素リッチな酸素混合ガスであった。本実施の形態における原料ガスは、酸素リッチな混合ガスを使用する。酸素ガスは液体酸素や酸素ガスボンベから供給され、その酸素量に対して 0.1～2.0% の窒素ガスが添加されることにより生成される混合ガス、または、VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption) や PSA (Pressure Swing Adsorption) による酸素製造装置から供給される混合ガス（酸素純度 90% 以上）が原料ガスとして用いられる。本実施の形態におけるオゾン発生装置 22 は、酸素源オゾン発生

装置と称される。

- [0128] オゾン発生装置 22 へ供給される原料ガスが、液体酸素や酸素ガスボンベの場合、上述したように、微量の窒素ガスを添加する必要がある。特に純度の高い酸素を用いる場合、窒素ガスを全く添加しないとオゾン発生効率が極端に低下する現象が確認されており、この現象を回避するために上述の窒素ガス量を添加する。窒素量が 0.1% 未満の場合は、オゾン発生効率の改善効果が不十分であり、0.1% 以上の添加により改善が見られる。一方、2.0% を越えると、 NO_x 生成量が増加しだすため、オゾン発生効率の低下が発生する。したがって、本実施の形態における窒素添加量は 0.1 ~ 2.0% としている。
- [0129] 実施の形態 1 ~ 6 で示した空気を原料ガスとした空気源オゾン発生装置（オゾン発生装置 3）の場合と比して、本実施の形態においては、原料ガス中の窒素成分が少ないため、オゾン発生装置 22 で生成される NO_x 量も低減される。すなわち、放電部における放電生成物の堆積・固着のリスクは空気源に比して格段に緩和される。したがって、本実施の形態におけるオゾン発生装置 22 の動作条件は空気源の場合と若干異なる。
- [0130] 酸素リッチな混合ガスを使用する場合は、本実施の形態にかかるオゾン発生装置 22 の放電電極部の構成としては、放電空間（図 2 の放電空間 305 に対応）のギャップ長 d は 0.2 mm 以上 0.6 mm 以下、好ましくは 0.2 mm 以上 0.4 mm 以下に設定している。酸素リッチな原料ガスを用いる場合、実施の形態 1 ~ 6 で示したギャップ長 d の下限値である 0.3 mm より短く、つまり電界強度が高くなっても NO_x の発生量は実施の形態 1 ~ 6 に比して極めて少ないため、オゾン発生効率への影響は小さい。むしろ、酸素源オゾン発生装置（オゾン発生装置 22）における電界強度の向上は、生成したオゾンの分解効果を抑制するため、オゾン発生効率は向上する。
- [0131] 一方、ギャップ長 d が 0.2 mm 未満となる場合は、より高効率なオゾン発生が期待できるが、均一なギャップ長を放電空間全域に渡って形成するのが困難となるため、製造上好ましくない。オゾン発生装置 22 に投入される

投入電力密度は、 $0.05\text{ W/cm}^2 \sim 0.6\text{ W/cm}^2$ 、好ましくは $0.3\text{ W/cm}^2 \sim 0.6\text{ W/cm}^2$ となる。これは、ギャップ長 d の下限值が小さくなることにより、放電空間の冷却が促進されるため、実施の形態1～6の場合に比して、投入できる電力の増大が可能となることに起因する。ガス圧力 P は、実施の形態1～6と同様に、 0.2 MPaG 以下、好ましくは 0.1 MPaG 以上 0.2 MPaG 未満に設定されている。

[0132] 実施の形態1～6に上記酸素源オゾン発生装置（オゾン発生装置22）を適用した場合、 N_2O_5 の瞬時発生量は空気源オゾン発生装置に比して極めて少なくなる。しかし、長時間の運転と原料ガスに同伴される水分量によりオゾン発生装置22内に生成物の蓄積および硝酸生成が発生してしまうことは、実施の形態1～6と同様である。したがって、酸素源オゾン発生装置においても、実施の形態1～6で示したメンテナンスモードの適用は効果的である。

[0133] 制御部4において、放電電極部内での異常の兆候を検知した場合、すなわち、通常運転モードからメンテナンスモードに移行すると、オゾン発生装置22に投入される電力密度およびオゾン発生装置22へ供給される冷却水温度の少なくとも一方を操作することにより、電極管温度が図4において示した領域Cと同等の酸素源オゾン発生装置における領域C内を維持し、放電空間内のガス圧力よりも、電極管温度に対応する N_2O_5 の飽和蒸気圧の方が高くなるように、電極管温度を上昇させる。または、放電空間内のガス圧力よりも、電極管温度に対応する N_2O_5 の飽和蒸気圧が高くなるように、ガス圧力を低下させる。

[0134] 上記により、電極管および放電空間の温度が放電生成物の状態を変化させるに十分な値となるため、放電空間内の放電生成物を物理的に除去することが可能となり、また、オゾン発生装置22内における硝酸の滞在確率および滞在時間も大幅に削減できる。したがって、オゾン発生システムを停止し、オゾン発生装置22を大気開放する必要がなく、開放点検回数を従来よりも大幅に削減できる。また、新たなメンテナンス用の機器などの追加も必要

なく、オゾン発生装置 22 の無開放による放電部の清浄化をユーザサイドでも容易に実施できる。さらに、放電空間の閉塞を未然に防止し、金属部材や高電圧電極の腐食も抑制できるため、信頼性の高い高効率オゾン発生を継続させることができる。

[0135] 従来の大気開放によるメンテナンスには、多大な時間を要しており、ユーザに対してシステムの停止時間およびメンテナンス費用が負担となっていた。本実施の形態では、上述のように、開放点検回数的大幅削減が可能となるが、特に、大気開放せずとも放電部を清浄化できるため、従来の大気開放によるメンテナンス終了後のオゾン発生装置内のガス露点の回復工程が不要となり、それに要していた多大な時間も省略される点も大きな効果である。また、オゾン発生に供せず、ガス露点の回復に要していた原料ガスの消費量も低減できる。

[0136] 以上のように、本実施の形態 7 にかかるオゾン発生システムによれば、酸素源オゾン発生装置（オゾン発生装置 22）の場合、放電空間（図 2 の放電空間 305 に対応）のギャップ長 d を 0.2 mm 以上 0.6 mm 以下、好ましくは 0.2 mm 以上 0.4 mm 以下に設定することで、効率的な運用が行える。

[0137] 実施の形態 8.

本発明の実施の形態 8 にかかるオゾン発生システムについて説明する。本実施の形態 8 にかかるオゾン発生システムは、実施の形態 1～7 にかかるオゾン発生システムと基本的な構成および動作は同様である。

[0138] 図 12 は本実施の形態 8 にかかるオゾン発生システムの機器構成、制御系統、フロー系統等を示す系統図である。図中、実施の形態 1～7 にかかるオゾン発生システムの構成機器と同様あるいは対応する部材には、同じ符号を付し、特に必要のない限り説明を省略する。図 12 において、本実施の形態 8 にかかるオゾン発生システムでは、オゾン発生装置 23 へ原料ガスを供給するガス供給装置 24 は上述した酸素源または空気源のいずれでもよい。酸素源および空気源オゾン発生装置のギャップ長 d など動作条件は実施の形態

1～7に記載のとおりである。なお、放電電極部（実施の形態1～6の放電電極部30に対応）の構成については、実施の形態1で用いた図2を、通常運転モードからメンテナンスモードへ移行する動作については、図3を援用して説明を行う。

[0139] 本実施の形態においては、実施の形態1～7で示したガス露点、オゾン発生装置の差圧、オゾン発生装置の入口ガス圧力および同出口ガス圧力、実施の形態2で示した硝酸濃度、 NO_x 濃度に加え、オゾン発生装置23へ同伴される積算水分量、オゾン発生装置23へ供給される原料ガス流量、オゾン発生装置23から出力されるオゾン濃度、オゾンガス流量およびオゾン発生量、オゾン発生効率、さらに、運転時間のうちの少なくとも一つ以上をオゾン発生パラメータとして検出する検出部25の値を基に、制御部4にて放電電極部内での異常の兆候を検知し、オゾン発生装置23内でのオゾン生成のための放電が継続した状態のまま動作モードを切り替えることを特徴とする。なお、図12において、検出部25は、便宜上、代表してオゾン発生装置23と接続されているが、各検出手段の検出箇所は、各物理量に応じた適正な箇所に配置される。

[0140] 検出部25について説明する。ガス露点、オゾン発生装置差圧、入口ガス圧力、出口ガス圧力、硝酸濃度および NO_x 濃度は実施の形態1～7で説明したとおりである。オゾン発生装置23へ同伴される積算水分量は、ガス露点から換算される水分量の時間積分値であり、オゾン発生装置23にある一定期間に同伴される総水分量を示す。瞬時水分量を検知するガス露点よりも、さらに正確にメンテナンスモードへの移行必要性を把握できる。また、オゾン発生装置23のオゾン濃度、オゾン発生量およびオゾン発生効率はオゾン発生装置23の性能を直接示す値であり、装置性能の劣化の予兆によりメンテナンスモードへの移行の必要性を検知することができる。原料ガス流量およびオゾンガス流量はガス圧力および差圧の代用として使用できる。また、運転時間は、ユーザが自由に設定できるものであり、予定されたシステムの停止前や起動時、低負荷時など、または、例えば1年に1回などユーザが

決定した電極部清浄化作業時期など、あらかじめ決められた時期にメンテナンスモードに移行させるためのものである。

[0141] 制御部4において、放電電極部内での異常の兆候を検知した場合、すなわち、通常運転モードからメンテナンスモードに移行すると、オゾン発生装置23に投入される電力密度およびオゾン発生装置23へ供給される冷却水温度の少なくとも一方を操作することにより、電極管温度が図4における領域Cと同等の本実施の形態における領域C内を維持し、放電空間内のガス圧力よりも、電極管温度に対応する N_2O_5 の飽和蒸気圧の方が高くなるように、電極管温度を上昇させる。または、放電空間内のガス圧力よりも、電極管温度に対応する N_2O_5 の飽和蒸気圧が高くなるように、ガス圧力を低下させる。

[0142] メンテナンスモードにおける動作について説明する。図13にメンテナンスモードに関する制御フローを示す。図中、複数の矢印の先の縦棒の右横に○と矢印を記しているのは、複数の矢印の元側のいずれか一つを満たすと、○の右の矢印に進む、つまり、囲み欄に示したように、OR動作を示すものである。図中、オゾン発生パラメータである検出部25の信号(Di)を基に、メンテナンスモードに移行すると、制御部4を介して調整されるオゾン発生装置23に投入される電力密度(A1)は、オゾン発生装置23へ印加される電圧、電流および電力(OPe)のいずれか少なくとも一つを操作することにより調整される。なお、図示しないが、ガス圧力P(A3)を調整することによっても電力密度(A1)は変化するので、ガス圧力Pも電力密度(A1)の操作因子(OPe)のひとつと考えることもできる。

[0143] また、オゾン発生装置23に供給される冷却水温度(A2)は、バイパス配管10を利用することにより調整される。また、図示しないが、実施の形態2～6で示した冷却器8の動作制御、循環ポンプ9の軸動力および電源装置の排熱の利用も有効であり、これら(OPt)の少なくともいずれか一つを操作することにより調整することができる。

[0144] すなわち、本実施の形態におけるオゾン発生システムにおいては、複数の

検出部から出力された検出値（ D_i ：オゾン発生パラメータ）の少なくとも一つに基づき、オゾン発生装置 23 の投入電力密度（ A_1 ）、冷却水温度（ A_2 ）およびガス圧力 P （ A_3 ）を同時に制御し、 N_2O_5 の固体から気体への相変化を促進させることができる。例えば、メンテナンスモードへの移行と同時に、バイパス配管 10 を利用して冷却水温度を調整し、電極管温度を上昇させる。その後、オゾン発生装置 23 の電流を調整することにより投入電力密度を上昇させ、電極管温度の微調整を実施する。また、メンテナンスモード移行と同時に、オゾン発生装置 23 のガス圧力を低下させる。

[0145] これにより、オゾン発生装置 23 内でインピーダンスが低下することにより放電が発生しやすくなるため、オゾン発生装置 23 への印加電圧を大きく調整させることなく、投入電力密度を増大させることができる。その後、冷却水温度の調整により電極管温度の微調整を実施してもよい。もちろん、これらの操作に限るものではない。これらの操作により、オゾン発生を継続した状態で N_2O_5 の固体から気体への相変化を高精度に実現できるため、放電空間内における放電生成物の滞在確率および滞在時間が大幅に減少し、前記放電生成物の放電空間内への蓄積または固着することを抑制できる。

[0146] 本実施の形態で示したメンテナンスモードにより、電極管および放電空間の温度が放電生成物の状態を変化させるに十分な値となるため、放電空間内の放電生成物を物理的に除去することが可能となり、また、オゾン発生装置 23 内における硝酸の滞在確率および滞在時間も大幅に削減できる。したがって、オゾン発生システムを停止し、オゾン発生装置 23 を大気に開放する必要がなく、開放点検回数を従来よりも大幅に削減できる。また、新たなメンテナンス用の機器などの追加も必要なく、オゾン発生装置 23 の無開放による放電部の清浄化をユーザサイドでも容易に実施できる。さらに、放電空間の閉塞を未然に防止し、金属部材や高電圧電極の腐食も抑制できるため、信頼性の高い高効率オゾン発生を継続させることができる。

[0147] 従来の大気開放によるメンテナンスには、多大な時間を要しており、ユーザに対してシステムの停止時間およびメンテナンス費用が負担となっていた

。本実施の形態では、上述のように、開放点検回数の大幅削減が可能となるが、特に、大気開放せずとも放電部を清浄化できるため、従来の大気開放によるメンテナンス終了後のオゾン発生装置内のガス露点の回復工程が不要となり、それに要していた多大な時間も省略される点も大きな効果である。また、オゾン発生に供せず、ガス露点の回復に要していた原料ガスの消費量も低減できる。

[0148] そして、上述したオゾン発生パラメータ（検出値 D_i ）に基づき、メンテナンスモードに移行した際、温度調節装置（厳密には温度調節器13）とガス供給装置（1, 21, 24）による冷却水の温度（A2）とガス圧力（A3）との連携制御、または温度調節装置と電源装置による冷却水の温度（A2）と投入電力（A1）との連携制御を行うことで、高精度、かつ安定なメンテナンスモードを実現できる。

[0149] とくに、温度調節装置とガス供給装置および電源装置により、冷却水の温度（A2）とガス圧力（A3）と投入電力（A1）を連携制御することで、より一層高精度、かつ安定なメンテナンスモードを実現できる。

[0150] 以上のように、本実施の形態8にかかるオゾン発生システムによれば、対向配置されて放電空間305を形成する放電電極（放電電極部30）を有するオゾン発生装置（3, 22, 23）と、放電空間305にオゾン発生のための原料ガスとして、酸素を含むガスを供給するガス供給装置（1, 21, 24）と、放電電極（放電電極部30）に放電のための電力を供給する図示しない電源装置と、放電電極（放電電極部30）の温度を調節する温度調節装置7と、ガス供給装置（1, 21, 24）と電源装置と温度調節装置7とを制御して、オゾン発生装置（3, 22, 23）の運転を制御する制御部4と、オゾン発生装置（3, 22, 23）におけるオゾン発生パラメータ（検出値 D_i ）を検出する検出部25と、を備え、制御部4は、検出部25から出力されたオゾン発生パラメータ（検出値 D_i ）の値に基づき、通常の運転モードから、温度調節装置7（厳密には温度調節器13）とガス供給装置（1, 21, 24）、または温度調節装置7（厳密には温度調節器13）と電源

装置とを連携制御して、放電電極（放電電極部 30）の温度を五酸化二窒素が気化する温度まで上昇させて、放電空間 305 でのオゾンの発生を継続した状態で、放電電極（放電電極部 30）表面および放電空間 305 を清浄化する、清浄化運転モード（メンテナンスモード）へ移行するようにオゾン発生装置（3, 22, 23）の運転を制御する、ように構成したので、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得ることができる。

[0151] また、以上のように、本発明の実施の形態 1 にかかるオゾン発生方法によれば、対向配置されて放電空間 305 を形成する放電電極（放電電極部 30）を有するオゾン発生装置（3, 22, 23）に、酸素を含むガスを供給して放電空間 305 における放電を用いてオゾンを発生させるオゾン発生方法であって、オゾン発生装置（3, 22, 23）におけるオゾン発生パラメータ（検出値 D_i ）を検出し、放電電極（放電電極部 30）を冷却する冷却水の温度（ A_2 ）とガス圧力 P （ A_3 ）、または放電電極（放電電極部 30）を冷却する冷却水の温度（ A_2 ）と放電電極（放電電極部 30）への投入電力（ A_1 ）とを連携制御し、オゾン発生パラメータ（検出値 D_i ）の値に基づき、放電電極（放電電極部 30）の温度を五酸化二窒素が気化する温度まで上昇させて、放電空間 305 でのオゾンの発生を継続した状態で、放電電極（放電電極部 30）表面および放電空間 305 を清浄化する、ように構成したので、安定な動作状態を維持して信頼性が高いオゾン発生システムを得ることができる。

符号の説明

[0152] 1, 21, 24 : ガス供給装置、 2 : 露点計測部（検出部）、
3, 22, 23 : オゾン発生装置、 30 : 放電電極部（放電電極）、
301 : 接地電極管、 304 : 高圧電極管、 305 : 放電空間、
4 : 制御部、 5 : 排オゾン処理部、 6 : 差圧計測部（検出部）、
7 : 冷却系統（温度調節装置）、 8 : 冷却器、 9 : 循環ポンプ、
10 : バイパス配管、 13 : 温度調節器、 20 : 熱交換器、
16 : 硝酸濃度計測部（検出部）、 17 : 硝酸トラップ（硝酸除去部）、

25 : 検出部、 200 : オゾン利用設備、 A1 : 投入電力、
A2 : 冷却水温度、 D_i : 検出値（オゾン発生パラメータ）、
d : 空隙長（電極の間隔）、 P : ガス圧力（A3）。

請求の範囲

[請求項1] 対向配置されて放電空間を形成する放電電極を有するオゾン発生装置と、

前記放電空間にオゾン発生のための原料ガスとして、酸素を含むガスを供給するガス供給装置と、

前記放電電極に放電のための電力を供給する電源装置と、

前記放電電極の温度を調節する温度調節装置と、

前記ガス供給装置と前記電源装置と前記温度調節装置とを制御して、前記オゾン発生装置の運転を制御する制御部と、

前記オゾン発生装置におけるオゾン発生パラメータを検出する検出部と、を備え、

前記制御部は、前記検出部から出力されたオゾン発生パラメータの値に基づき、通常の運転モードから、前記温度調節装置と前記ガス供給装置、または前記温度調節装置と前記電源装置とを連携制御し、前記放電電極の温度を五酸化二窒素が気化する温度まで上昇させて、前記放電空間でのオゾンの発生を継続した状態で前記放電電極表面および前記放電空間を清浄化する、清浄化運転モードへ移行するように前記オゾン発生装置の運転を制御することを特徴とするオゾン発生システム。

[請求項2] 前記オゾン発生パラメータは、前記放電空間に供給される原料ガスの露点、前記原料ガスに同伴される積算水分量、前記オゾン発生装置で発生する差圧、前記オゾン発生装置の入口ガス圧力、前記オゾン発生装置の出口ガス圧力、前記原料ガスの流量、前記オゾン発生装置から出力されるオゾンガスのオゾン濃度、前記オゾンガスの流量、前記発生量、オゾン発生効率、前記オゾンガスの硝酸濃度、前記オゾンガスの NO_x 濃度、および運転時間、の少なくとも一つであることを特徴とする請求項1に記載のオゾン発生システム。

[請求項3] 前記制御部は、前記放電空間に投入される投入電力密度、前記放電

電極を流通する冷却水温度、および前記放電空間内のガス圧力を制御し、前記放電電極の温度を上昇させることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のオゾン発生システム。

[請求項4] 前記制御部は、前記放電空間内のガス圧力よりも前記放電電極の温度に対応する五酸化二窒素の飽和蒸気圧の方が高くなるように、大気圧を超える所定圧力まで前記放電空間内のガス圧力を下げること特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載のオゾン発生システム。

[請求項5] 前記放電空間内のガス圧力が、ゲージ圧で 0.1 MPa 以上 0.2 MPa 未満に設定されていることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載のオゾン発生システム。

[請求項6] 前記検出部は、前記オゾン発生装置から供給されたオゾン化ガス中の硝酸濃度を計測する硝酸濃度計測部または NO_x 濃度を計測する NO_x 濃度計測部を含み、前記オゾン発生装置の下流に前記オゾン化ガス中の硝酸成分を取り除く硝酸除去部が設けられ、

前記制御部は、

前記硝酸濃度または前記 NO_x 濃度の値が第 1 の規定値よりも高い場合に、前記清浄化運転モードに移行し、

前記硝酸濃度または前記 NO_x 濃度の値が、前記第 1 の規定値よりも高い第 2 の規定値よりも高い場合に、前記オゾン化ガスの少なくとも一部を前記硝酸除去部に通すように制御することを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載のオゾン発生システム。

[請求項7] 前記対向配置された放電電極の間隔が、0.2 mm 以上かつ 0.6 mm 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載のオゾン発生システム。

[請求項8] 前記温度調節装置は、前記放電電極から出た冷却水が冷却器を通過して前記放電電極に戻るよう構成された主配管と、前記放電電極から出た冷却水が前記冷却器を通らずに前記放電電極に戻るよう構成さ

れたバイパス配管とを有し、

前記バイパス配管に流す冷却水の比率を増加させることで、前記冷却器による前記冷却水からの吸熱量を減少させることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれか一項に記載のオゾン発生システム。

[請求項9] 前記温度調節装置には、前記放電電極から出た冷却水を前記電源からの排熱で温める熱交換器が設けられていることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか一項に記載のオゾン発生システム。

[請求項10] 対向配置されて放電空間を形成する放電電極を有するオゾン発生装置に、酸素を含むガスを供給して前記放電空間における放電を用いてオゾンを発生させるオゾン発生方法であって、

前記オゾン発生装置におけるオゾン発生パラメータを検出し、前記放電電極を冷却する冷却水の温度と前記ガスの圧力、または前記放電電極を冷却する冷却水の温度と前記放電電極への投入電力とを連携制御し、前記オゾン発生パラメータの値に基づき、前記放電電極の温度を五酸化二窒素が気化する温度まで上昇させて、前記放電空間でのオゾンの発生を継続した状態で、前記放電電極表面および前記放電空間を清浄化する、ことを特徴とするオゾン発生方法。